

## **ANÁLISE COMPARATIVA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL COM APLICAÇÃO DE TRÊS MODELOS**

Christiane Spörl\* & Jurandyr Luciano Sanches Ross\*\*

### **RESUMO:**

Este trabalho apresenta uma comparação de três modelos metodológicos aplicados aos estudos da fragilidade ambiental. A aplicação destes modelos resultou na confecção de três mapeamentos diferenciados de fragilidade, os quais foram analisados e comparados entre si. Dos três modelos metodológicos aplicados, dois foram propostos por ROSS (1994), um com apoio nos Índices de Dissecção do Relevo, e o outro nas Classes de Declividade. O terceiro modelo foi proposto por CREPANI *et al* (1996) baseado nas Unidades Territoriais Básicas - UTB s.

Os modelos de análise da fragilidade servem como subsídio ao planejamento estratégico ambiental. Os mapeamentos das fragilidades ambientais identificam e analisam as áreas em função de seus diferentes níveis de fragilidade. Através destes documentos torna-se possível apontar as áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos, favorecendo então determinados tipos de inserção, assim como áreas mais frágeis onde são necessárias ações tecnicamente mais adequadas a essas condições.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Planejamento; Zoneamento Ecológico; Fragilidade Ambiental; Modelos.

### **ABSTRACT:**

This work presents a comparison between three methodological models which were applied to Environmental Fragility studies. The application of these models resulted in three different Environmental Fragility maps, which were analyzed e compared with each other. Of the three methodological methods used, two were proposed by ROSS (1994), one of them based on the Relief's Dissection Index and the other on the Slope Classes. The third model was proposed by CREPANI *et al* (1996), based on the Basic Territorial Units – UTB s.

Although the different results presented by the three models, its purposes are the same: to gather information to the Environmental Strategic Planning. The environmental Fragility mappings identify and analyze the areas according to its different fragility levels. Through these documents it's possible to point out the lowest fragility rated areas, favoring then certain types of insertion; and the most fragile areas, where more adequate technical actions are required. The models of Fragility analysis serve as subsidy to the Environmental Strategic Planning. The environmental Fragility mappings identify and analyze the areas according to its different fragility levels. Through these documents it's possible to point out the lowest fragility rated areas, favoring then certain types of insertion; and the most fragile areas, where more adequate technical actions are required.

### **KEY WORDS:**

Planning; Ecological Zoning; Environmental Fragility; Models.

\* Mestre pelo Departamento de Geografia, FFLCH-USP. E-mail: [christianesporl@usp.br](mailto:christianesporl@usp.br)

\*\* Professor Doutor do Departamento de Geografia, FFLCH USP. E-mail: [juraross@usp.br](mailto:juraross@usp.br)

## Introdução

As últimas décadas têm sido marcadas por profundas modificações tecnológicas, sociais, econômicas e, principalmente, ambientais. Os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características "genéticas". Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Estes estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

Dada a importância deste tema, este trabalho visa avaliar três modelos metodológicos desenvolvidos para a análise ambiental da fragilidade, dois deles propostos por ROSS (1994), e o outro por CREPANI *et al* (1996). Para a avaliação destes modelos foi escolhida uma área que se localiza na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, abrangendo terras dos municípios de São João da Boa Vista (SP), Águas da Prata (SP) e Poços de Caldas (MG), conforme apresentado na Figura 1.

Para esta área foi aplicada e estabelecida uma comparação analítica destes três modelos de análise da fragilidade ambiental. A aplicação destes modelos resultou na confecção de três cartas-síntese de fragilidade, através das quais foram confrontados seus resultados e avaliadas as diferenças apresentadas em cada um dos modelos.

## I. Procedimentos Técnico-Operacionais:

A seguir são apresentados os procedimentos para a confecção do Mapa de Fragilidade dos Ambientes Naturais utilizando-se

as três alternativas metodológico-operacionais e a análise destes produtos cartográficos:

Modelo de Fragilidade Potencial Natural com Apoio nos Índices de Dissecção do Relevo

Segundo ROSS (1994) as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos básicos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

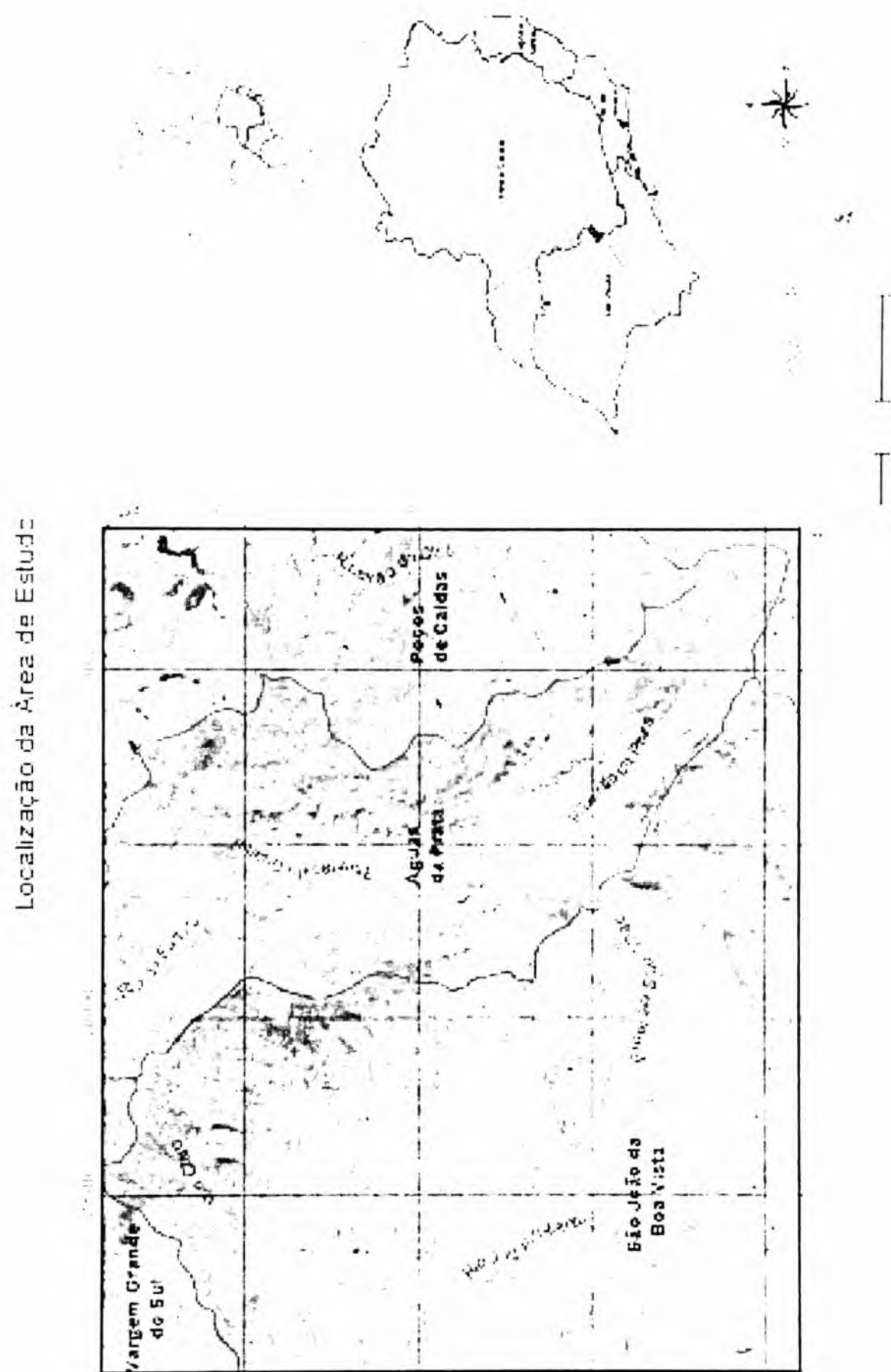
Este modelo propõe que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0. Desta forma, a partir da composição das relações destas quatro variáveis:

- ♦ Índices de Dissecção do Relevo categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5);
- ♦ Solos - classes de fragilidade muito fraca (1) a muito forte (5);
- ♦ Cobertura Vegetal grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- ♦ Pluviosidade - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5).

Foi então estabelecida uma classificação da fragilidade através da composição entre estes quatro planos de informação composta pelas categorias e Algarismos acima mencionados. O primeiro relacionado ao relevo, o segundo ao solo, o terceiro à cobertura vegetal/uso da terra e o quarto à pluviosidade.

Da combinação desses Algarismos (ex: 1111, 1213, 2345, 3423, 5555), foi possível hierarquizar os graus de fragilidade natural. Nesta convenção, o conjunto numérico 1111 representa todas as variáveis favoráveis (fragilidade muito baixa), e o conjunto numérico 5555 apresenta todas as variáveis desfavoráveis (fragilidade muito forte).

Através desta análise empírica proposta por ROSS (1994), foi possível estabelecer quais áreas podem ser consideradas como mais críticas



**Figura 1:** Localização Regional da Área de Estudo  
**Fonte:** Imagem de Satélite TM-LANSAT - 1997  
**Organização:** Christiane Spörl

do ponto de vista da fragilidade potencial natural para a área de estudo. A Figura 2 apresenta o mapa de fragilidade ambiental seguindo os procedimentos metodológicos propostos por ROSS (*op cit*) com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo.

Foram obtidos como resultados para a área de estudo quatro graus diferenciados de fragilidade (fraca, média, forte e muito forte), havendo um predomínio da classe média.

Segundo os procedimentos técnico-operacionais deste modelo a variável índice de dissecação do relevo (1º dígito) é que vai determinar o grau de fragilidade de cada área analisada. As demais variáveis irão definir uma hierarquização através de seus coeficientes de fragilidade, sendo que a variável cobertura vegetal irá identificar, através de seus índices as áreas onde o equilíbrio dinâmico foi rompido propiciando situações de riscos e as áreas onde a estabilidade continua reinando (até o momento).

#### Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade

O procedimento técnico-operacional utilizado para a confecção deste produto cartográfico é uma derivação dos procedimentos apresentados no modelo anterior. Ao invés de utilizar os índices de dissecação do relevo como suporte para a confecção da carta-síntese de fragilidade, usou-se as classes de declividade.

Para se estabelecer os intervalos das classes de declividade foram utilizados os intervalos já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotecnia. Desta forma, as classes de declividade foram hierarquizadas em cinco categorias:

- 1 – Muito Fraco – < 6%
- 2 – Fraco – 6 a 12%
- 3 – Médio – 12 a 20%
- 4 – Forte – 20 a 30%
- 5 – Muito Forte – > 30%

As variáveis solo, cobertura vegetal/uso da terra e pluviosidade mantêm os mesmos parâmetros aplicados para o modelo anterior. Cada uma destas variáveis foi classificada em cinco graus diferenciados de fragilidade, conforme apresentado a seguir:

- ♦ Classes de Declividade – categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5);
- ♦ Solos – classe de fragilidade muito baixa (1) a muito forte (5);
- ♦ Cobertura Vegetal – grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- ♦ Pluviosidade – categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5).

A classificação destas variáveis de acordo com sua fragilidade compõe, assim como no modelo anterior, uma combinação numérica representada por quatro dígitos. O primeiro relacionado à declividade, o segundo ao solo, o terceiro à cobertura vegetal e o quarto à pluviosidade.

Também como no modelo anterior, estes quatro dígitos representam as características de cada variável presente numa determinada área. A Figura 3 apresenta o Mapa de Fragilidade Ambiental seguindo os procedimentos metodológicos propostos por ROSS (1994) com apoio nas Classes de Declividade.

Com a aplicação destes procedimentos técnico-operacionais foram obtidos como resultados para a área de estudo cinco graus diferenciados de fragilidade (muito fraca, fraca, média, forte e muito forte), notando-se um nítido predomínio da classe muito forte.

O 1º dígito da combinação entre as variáveis irá sempre definir o grau de fragilidade para a área. Ou seja, neste caso a variável declividade sobrepõe-se às variáveis solo, cobertura vegetal e pluviosidade, fixando graus de fragilidade distintos para a área. A variável cobertura vegetal/uso da terra irá classificar estas áreas como estáveis ou instáveis, apontando nuances desta instabilidade.

Utilizando-se a variável declividade, ao invés dos índices de dissecação do relevo, a identificação do grau de fragilidade para a área de estudo torna-

# FRAGILIDADE AMBIENTAL COM APOIO NOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO

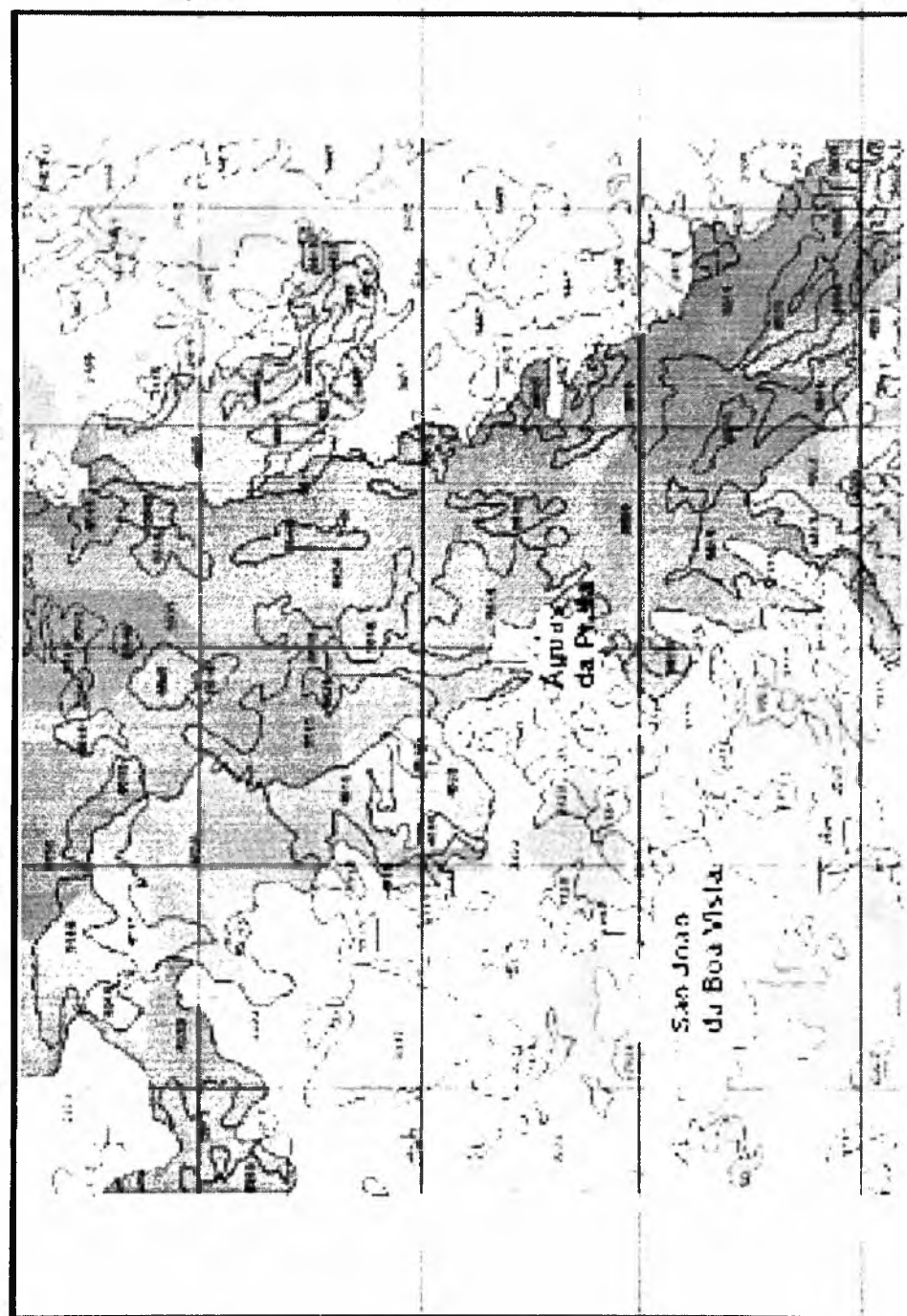


Figura 1. Mapa topográfico da região de estudo com a sobreposição dos índices de dissecação do relevo (MMA, 1984).



## FRAGILIDADE AMBIENTAL COM APOIO NAS CLASSES DE DECLIVIDADE

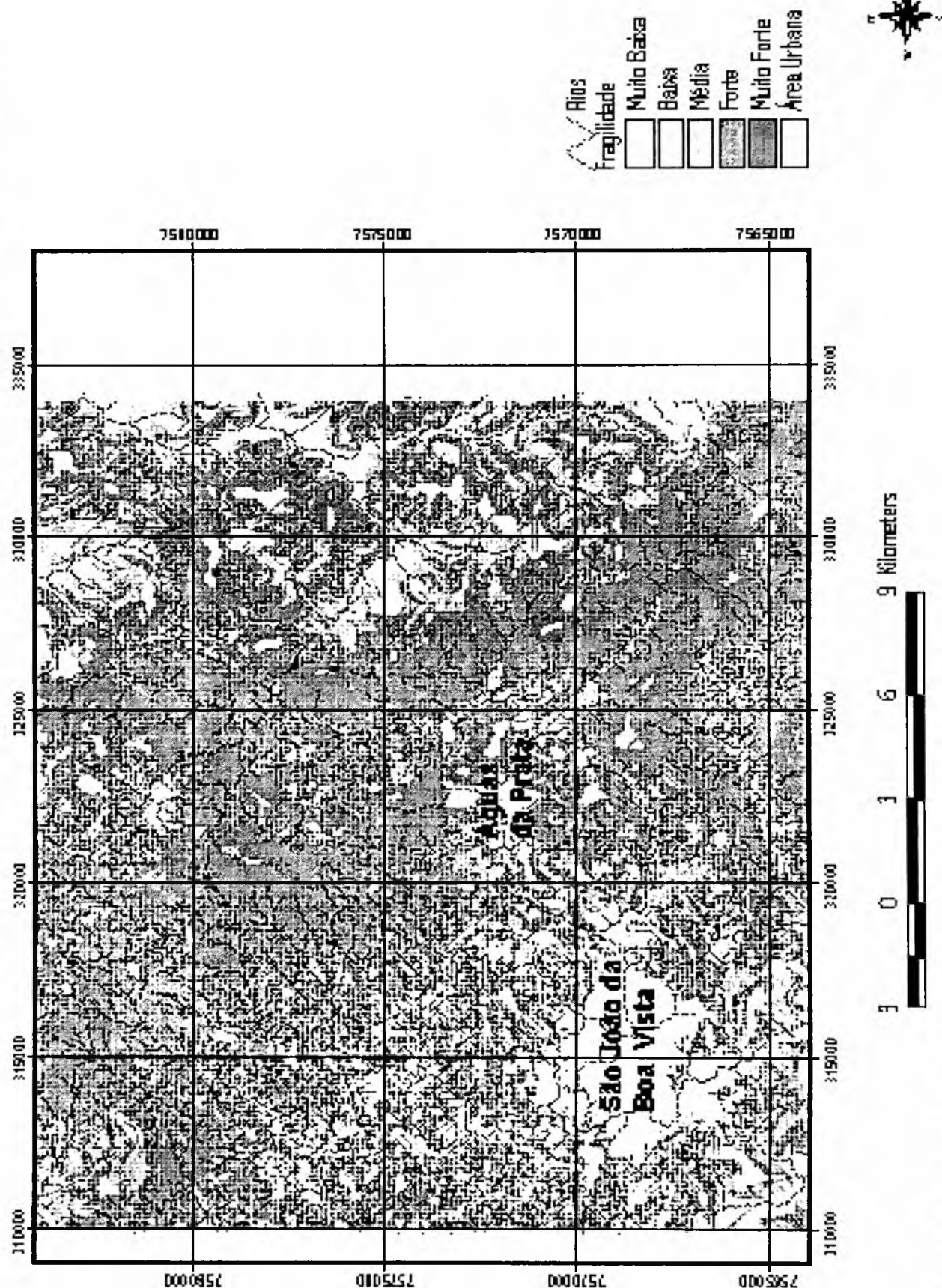


Figura 2: Mapa de Fragilidade Ambiental com Apoio nas Classes de Declividade (R.D.S.S. - 1994)  
Organização: Christiana Spörl

se mais fragmentada. A área tem uma variabilidade maior em relação à identificação dos seus graus de fragilidade.

Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio em UTB's – Unidades Territoriais Básicas

O INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, objetivando subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia desenvolveu uma metodologia para elaborar mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão. Esta metodologia consiste primeiramente na elaboração de um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem, ou Unidades Territoriais Básicas (UTB's), obtido através da análise e interpretação de imagem TM-LANDSAT. O segundo passo é associar a este mapa preliminar de unidades homogêneas, obtido através das imagens, as informações temáticas pré-existentes.

A estabilidade ou vulnerabilidade, a resistência ao processo natural de erosão das unidades de paisagem natural é definida pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima. Seguindo esta proposta metodológica cada um destes temas recebe uma pontuação de fragilidade variando entre 1 e 3. Desta forma, as unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0.

Como resultado final, esta metodologia apresenta a vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função das informações provenientes de cada tema avaliado: geologia, geomorfologia, vegetação, solos e clima. Ou seja, cada unidade territorial básica recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$\text{VULNERABILIDADE} = \frac{(G + R + S + V + C)}{5}$$

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

V = vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades territoriais básicas são classificadas conforme a tabela a seguir:

GRAU DE FRAGILIDADE	INTERVALO DE CLASSE
Muita Baixa	1,0 – 1,4
Baixa	1,4 – 1,8
Média	1,8 – 2,2
Forte	2,2 – 2,6
Muito Forte	2,6 – 3,0

Tabela 1: Classes de Vulnerabilidade  
Fonte: Adaptado de Crepani et al (1996)  
Organização: Christiane Spörl

A Figura 4 apresenta o Mapa de Vulnerabilidade/Estabilidade seguindo os procedimentos metodológicos propostos por CREPANI et al (1996).

Segundo a aplicação destes procedimentos técnico-operacionais foram obtidos apenas três graus diferenciados de fragilidade: fragilidade baixa, média e forte, havendo para a área de estudo um predomínio marcante da fragilidade média.

Este predomínio da fragilidade média é decorrente da utilização da média aritmética ponderada aplicada para a totalidade das variáveis analisadas. A média faz com que variáveis muito frágeis sejam atenuadas pelas variáveis de menor fragilidade. Sendo assim, variáveis potencialmente muito frágeis quando combinadas com variáveis menos frágeis, deixam de oferecer riscos à erosão, segundo o modelo de análise aplicado.

Comparação e Avaliação dos Modelos :

# FRAGILIDADE AMBIENTAL OU VULNERABILIDADE / ESTABILIDADE COM APOIO NAS UTB'S

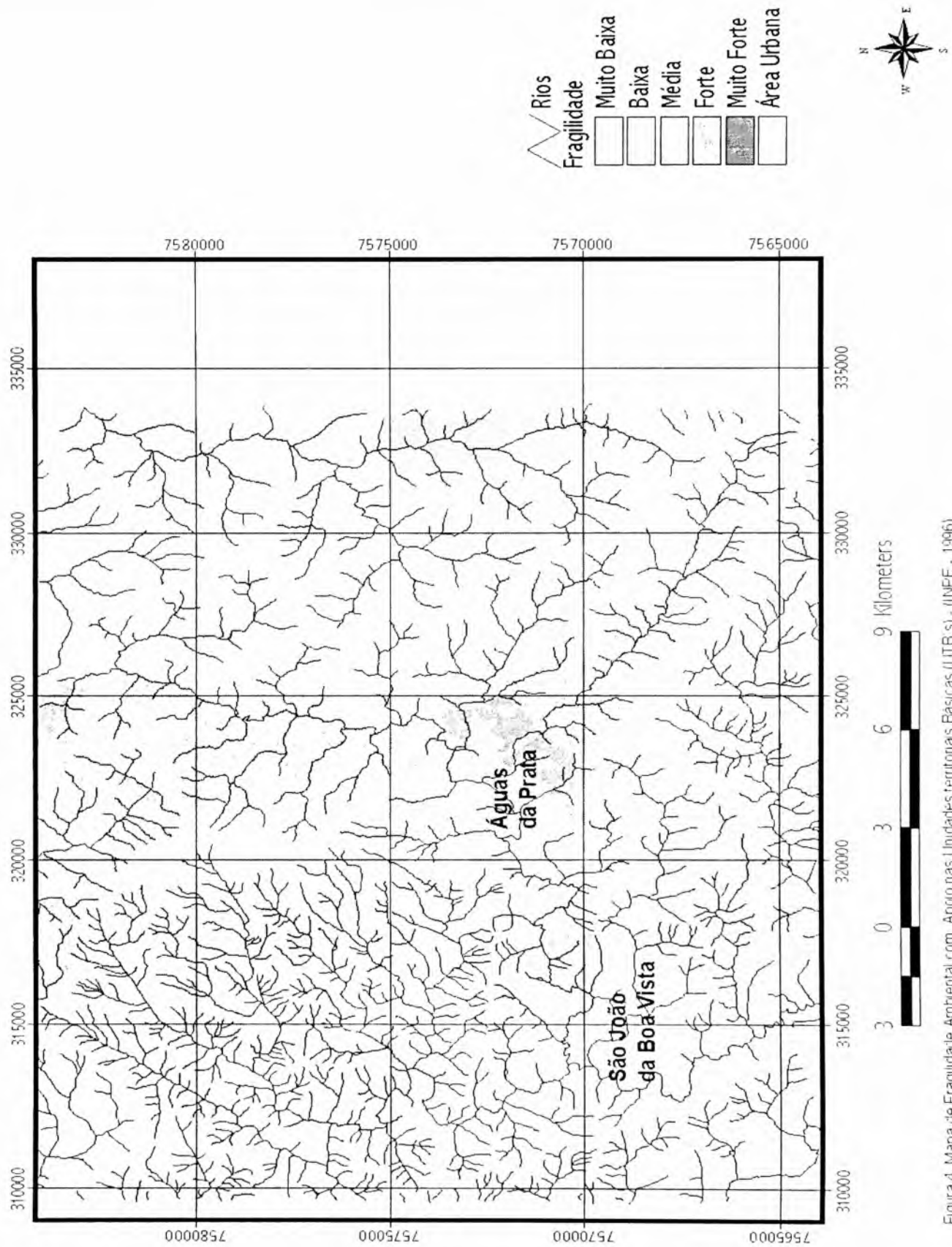


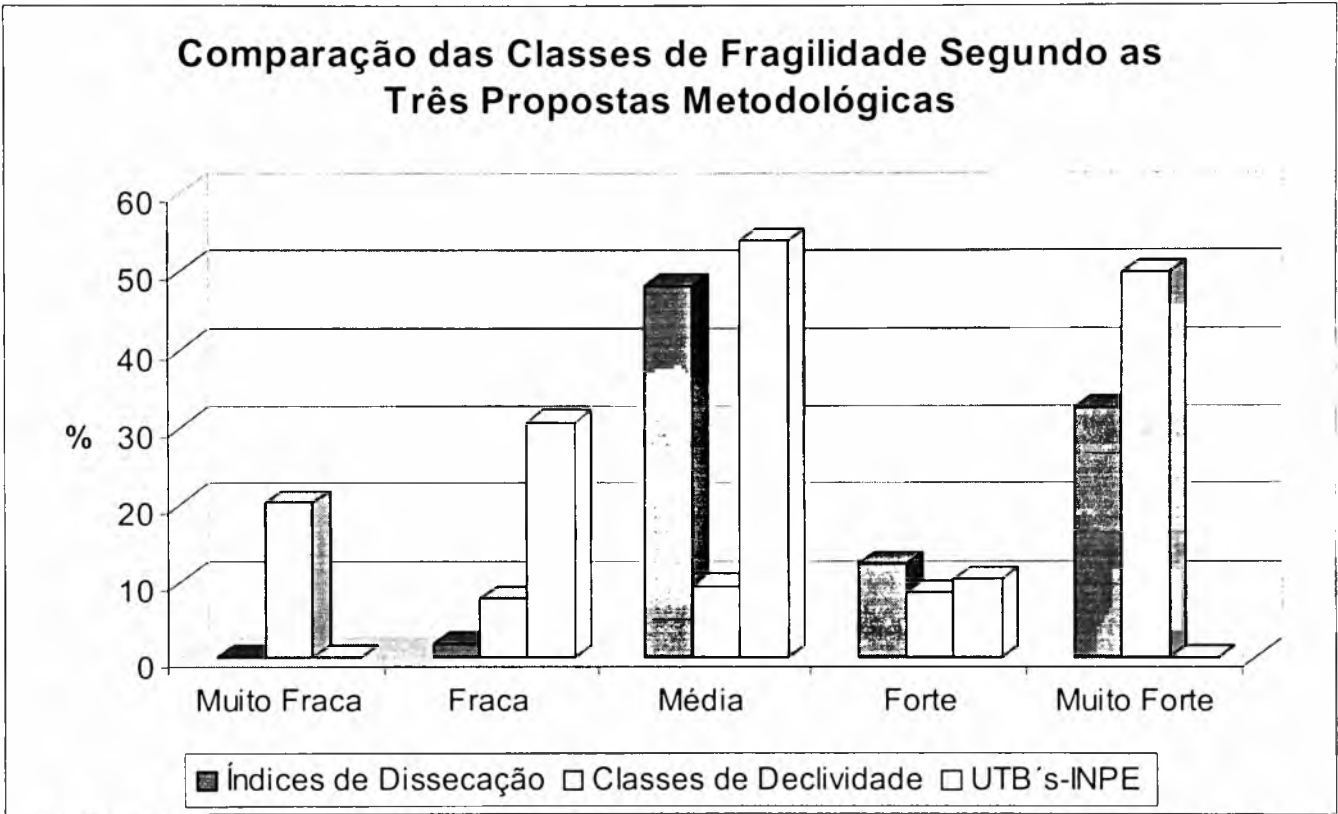
Figura 4 Mapa de Fragilidade Ambiental com Apoio nas Unidades territoriais Básicas (UTB's) - (INPE - 1996)  
Organização: Christiane Spörl



Os modelos apresentaram resultados divergentes para a área de estudo. O modelo proposto por ROSS (1994) utilizando-se os Índices de Dissecação do Relevo classificou a área em quatro diferentes graus de fragilidade (fraca, média, forte e muito forte). O outro modelo proposto por ROSS (op cit) utilizando-se as Classes de Declividade classificou a área em cinco graus de fragilidade (muito fraca, fraca, média, forte e muito forte). Já com a aplicação do modelo das

UTB s proposto por CREPANI *et al* (1996), a área foi classificada em apenas três diferentes graus de fragilidade (fraca, média e forte), conforme apresentado no gráfico a seguir:

As três metodologias com seus respectivos procedimentos técnico-operacionais levam em consideração basicamente as mesmas variáveis, mas com pequenas diferenciações, como pode ser verificado na tabela a seguir:



**Gráfico 1:** Distribuição das classes de fragilidade segundo as três metodologias analisadas  
Organização: Christiane Spörl

METODOLOGIAS	INDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO (ROSS 1994)	CLASSES DE DECLIVIDADE (ROSS 1994)	UTB'S (CREPANI ET AL 1996)
Variáveis			
Índices de Dissecação do Relevo	X		X
Declividade		X	
Solos	X	X	X
Cobertura Vegetal	X	X	X
Rochas			X
Clima	X	X	X

**Tabela 2:** Variáveis utilizadas em cada um dos procedimentos técnico-operacionais  
Organização: Christiane Spörl

Com relação às formas de calcular a fragilidade, o modelo proposto por CREPANI *et al* (1996) trabalha com valores médios para o produto final, e ROSS (1994) trabalha com o agrupamento dos índices das variáveis e adota o relevo como variável principal.

As formas de cálculo para obtenção dos graus de fragilidade refletem as diferentes maneiras de ponderar a importância das variáveis avaliadas. Por exemplo, no modelo de análise proposto por CREPANI *et al* (1996), a utilização da média aritmética entre as variáveis pressupõe que todas elas têm a mesma importância (peso) para o estabelecimento do grau de fragilidade de determinada UTB. Nos modelos de análise sugeridos por ROSS (1994) a variável que representa o 1º dígito da associação numérica determina o grau de fragilidade, enquanto as demais variáveis apenas hierarquizam nuances desta fragilidade. Deste modo, a variável relevo ou declividade (1º dígito) é mais expressiva para a determinação do grau de fragilidade segundo as propostas de ROSS (*op cit*). Sendo assim, no modelo de CREPANI *et al* (*op cit*) todas as variáveis tem o mesmo peso, já no modelo de ROSS o relevo ou a declividade têm uma importância muito maior na definição dos graus de fragilidade.

Mas é preciso ressaltar que estes procedimentos operacionais analisados podem apresentar resultados de fragilidade que não refletem as características da área. Por exemplo, nem sempre o relevo mais dissecado é de fato mais frágil, ou ao contrário, nem sempre o relevo pouco dissecado é realmente mais estável. Pois a fragilidade depende também do tipo de rocha, dos solos, do uso da terra e do regime de chuvas. Isto quer dizer que a valorização do relevo/declividade (1º dígito) no modelo sugerido por ROSS (1994) pode definir uma fragilidade muito forte para uma área muito dissecada, mas que na realidade as demais variáveis poderiam amenizar sua vulnerabilidade, ou ainda, poderia determinar uma fragilidade muito fraca para uma área de relevo estável, mas que as outras variáveis poderiam acentuar sua vulnerabilidade.

Já no modelo proposto por CREPANI *et al* (1996), a igual ponderação entre os diferentes

valores dos atributos que resulta em valores médios para cada UTB pode acabar por "mascarar" ou atenuar o resultado final do índice de fragilidade da unidade identificada.

Como foi analisado, tanto as ponderações das variáveis, quanto a forma de cálculo para obtenção dos graus de fragilidade são as grandes responsáveis pelas divergências de resultados apresentados entre os três produtos analítico-cartográficos gerados, no contexto da escala de trabalho, 1:50.000.

### Considerações Finais:

A grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada.

Neste trabalho não foi possível apontar qual o melhor modelo de fragilidade ambiental, pois não foi estabelecida uma comparação destes modelos empíricos com a realidade de campo. No entanto, através de análises e das comparações executadas entre os três modelos verificou-se que estes apresentam certas deficiências. O principal problema observado está relacionado à atribuição de "pesos" às variáveis. Estes pesos devem indicar a contribuição relativa de cada uma das variáveis (relevo, solo, rocha, cobertura vegetal e clima) na determinação do grau de fragilidade de uma área. No entanto, esta avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva, pois é complicado avaliar o quanto cada uma destas variáveis contribui para se estabelecer o grau de fragilidade. Esta dificuldade em atribuir pesos a cada uma destas variáveis é que explica as divergências apresentadas entre os modelos de fragilidade ambiental avaliados.

Para uma melhor avaliação sobre a eficácia destes três modelos de análise de fragilidade ambiental, visando ainda identificar o modelo que melhor se ajusta com o que ocorre na natureza, é necessário correlacionar os problemas de erosão, deslizamentos e perda de qualidade das águas de superfície encontrados em campo com os três modelos empíricos analisados. Só assim será

possível apontar um modelo que melhor condiz com a realidade.

Esperou-se com a análise comparativa destes modelos apontar aspectos positivos e negativos, contribuindo para o aperfeiçoamento dos mesmos e para o desenvolvimento de

outros modelos de análise da fragilidade ambiental. Pois estes modelos representam um importante instrumento para tomada de decisões necessárias ao processo de gestão territorial.

## Bibliografia

BARBOSA, Cláudio. *Álgebra de Mapas e suas Aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE, 1997.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. & FLORENZANO, T. *Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T & BARBOSA, C. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: INPE, 2000.

MEDEIROS, José Simeão. *Banco de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão do Território*. Tese Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1999.

NAKASHIMA, Myriam. *Análise dos Processos Erosivos e da Fragilidade Ambiental na Bacia do Keller-PR*. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1999.

RODRIGUES, Sílvia Carlos. *Análise Empírico-Experimental da Fragilidade Relevo-Solo no Cristalino do Planalto Paulistano: Sub-Bacia do Reservatório Billings*. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/ USP, 1998.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. "O Registro Cartográfico do Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo" *In: Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP*, nº 6, São Paulo, 1992.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. "Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados" *In: Revista do Departamento de Geografia nº8, FFLCH-USP*, São Paulo, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. "Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental" *In: Revista do Departamento de Geografia nº9, FFLCH-USP*, São Paulo, 1995.

SPÖRL, Christiane. *Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001.

Trabalho enviado em novembro de 2003.

Trabalho aceito em abril de 2004.

